

Développement durable et agriculture : la révolution doublement verte*

Michel Griffon

Qu'est-ce que la révolution doublement verte ? Pourquoi avoir promu cette nouvelle idée ? A-t-elle engendré des réalisations ou n'est-ce qu'un concept ? Quel avenir pourrait-elle avoir ? Pour répondre à ces questions et s'il s'agit bien d'une nouvelle étape dans l'histoire récente de l'agriculture, il est préalablement utile de comprendre en quoi la révolution verte telle qu'elle s'est déroulée atteint aujourd'hui des limites d'ordre environnemental. C'est pourquoi la prochaine étape du développement agricole devra limiter les atteintes à l'environnement tout en étant plus productive dans les pays en développement afin de pouvoir faire face à l'accroissement des besoins alimentaires des sociétés. C'est en ce sens que la révolution verte devra devenir « doublement » verte car il faudra qu'elle intègre le respect de l'environnement.

Aux origines de la révolution verte

La préparation de la révolution verte en Asie a commencé avant la Seconde Guerre mondiale mais s'est surtout intensifiée après, grâce la modernisation radicale des agricultures dans un petit nombre de pays industrialisés ou de colonies où pouvait se pratiquer la culture extensive : États-Unis, Canada, pays d'Europe, Argentine, Australie, Rhodésie et Algérie. Cette modernisation combinait la monoculture, la motorisation et la mécanisation, l'usage des engrais chimiques et des produits de traitement phytosanitaires ainsi que la sélection des plantes cultivées et des animaux d'élevage.

La mécanisation et la motorisation ont permis de réaliser des labours profonds, de préparer un sol plat et un lit de semence régulier facilitant un semis à profondeur homogène, condition nécessaire à une croissance tout aussi homogène des plantes sur une même parcelle. La sélection a progressivement élargi le potentiel génétique des variétés. Les engrais chimiques ainsi que les traitements contre les mauvaises herbes, les champignons et les insectes ont permis l'expression de ce potentiel. Se sont ajoutés à ces éléments l'irrigation et le drainage. Ainsi, la maîtrise et l'artificialisation de plus en plus grandes du milieu naturel ont conduit à l'accroissement de la production agricole. Parallèlement, celui de la production animale a été obtenu par l'amélioration de la médecine vétérinaire,

l'élargissement du potentiel génétique animal et l'augmentation du recours à l'alimentation artificielle du bétail.

Cette transformation a été très rapide dès les années 50, en particulier dans les exploitations familiales européennes. Le contexte économique y était favorable. En France, par exemple, la politique agricole nationale puis la politique agricole commune ont permis de stabiliser les prix, de subventionner le crédit, de remembrer le parcellaire, de faciliter le départ à la retraite des agriculteurs et le rachat des exploitations agricoles cessant leur activité par d'autres, plus dynamiques, de limiter les importations de produits concurrents et d'encourager les exportations.

Les résultats de la mutation technique et des différents politiques agricoles ont été très importants : les rendements en culture extensive ont presque quadruplé en un demi-siècle et la productivité du travail a été multipliée par un coefficient compris entre 25 et 100 entre le début du siècle et aujourd'hui [1]. Parallèlement, la production s'est spécialisée géographiquement en fonction des avantages comparatifs et du génie entrepreneurial des agriculteurs et des éleveurs dans les différentes régions. Ce mouvement d'intensification de l'agriculture à partir des intrants chimiques et de la mécanisation s'est généralisé ; l'idée d'un progrès permanent et d'un accroissement continu de la productivité est culturellement ancrée dans les esprits, ce qui la rend difficilement réversible [2].

Pourtant, ces performances s'accompagnent de problèmes environnementaux auxquels l'opinion publique est de plus en

M. Griffon : CIRAD-ECOPOL, Jardin Tropical de Paris, 45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne cedex, France.

Tirés à part : M. Griffon

* Ce texte reprend, pour l'essentiel, l'exposé introductif présenté au congrès « Jardin planétaire 99 » à Chambéry en mars 1999.

plus sensible. Aux États-Unis et en Australie, l'extension des labours sur des terres à la structure fragile a très rapidement entraîné une érosion éolienne et pluviale aux dimensions quelquefois dramatiques. En Europe, l'usage de grandes quantités d'engrais a pollué les eaux des rivières et des lacs avec des phosphates et des nitrates. Il en est de même avec les effluents d'élevage dans les zones à forte concentration d'animaux. Les résidus de pesticides polluent les nappes phréatiques. Ces mêmes nappes sont quelquefois surexploitées, ce qui provoque des conflits entre les irrigants. La spécialisation de l'agriculture et le recours à un petit nombre de variétés sélectionnées réduisent la diversité biologique des plantes cultivées, ce qui fait s'interroger sur la perte éventuelle de gènes intéressants. L'usage de pesticides modifie quelquefois en profondeur les écosystèmes locaux et l'on peut se demander si l'on ne risque pas de faire disparaître des espèces potentiellement utiles pour l'avenir.

Ces agricultures grandes consommatrices d'intrants chimiques et d'énergie vont donc devoir réduire leurs atteintes à l'environnement. Mais elles vont aussi connaître, à l'avenir, d'autres changements rendus nécessaires par la mondialisation de l'économie, par l'ouverture progressive des marchés et par la baisse vraisemblable des aides au revenu. La compétition sur les marchés internationaux et le jeu des avantages comparatifs devraient donc inciter les producteurs à poursuivre l'effort de productivité. Celui-ci devrait être facilité par la diminution du nombre des exploitations agricoles et l'augmentation de leur taille comme on l'observe en Europe et aux États-Unis. Par ailleurs, la demande sociale pour une agriculture qui respecte l'environnement tout en fournissant des produits alimentaires de qualité va inciter les producteurs à prendre en compte la composante écologique dans leur raisonnement.

Révolution verte dans les tropiques et la zone intertropicale

Dans les régions tropicales et intertropicales, la problématique a été assez différente. Les pays de cette zone ont été

confrontés, dans les 20 dernières années, à un accroissement important de la population (environ 80 millions d'habitants supplémentaires par an). Pour assurer la couverture des besoins alimentaires, la croissance de la production agricole a dû suivre celle de la population car, quand ce n'est pas le cas, comme en Asie pendant la première moitié du XX^e siècle, pénurie alimentaire, disette et famine se multiplient. L'insuffisance alimentaire chronique de l'Asie a particulièrement inquiété les États-Unis tout de suite après la Seconde Guerre mondiale : la guerre de Corée et la prise du pouvoir par le Parti communiste en Chine leur ont fait craindre une généralisation du communisme qui pouvait s'alimenter de la révolte des populations pauvres. L'Inde apparaissait comme le principal enjeu.

En Inde

Les fondations Rockefeller, Ford et divers autres, toutes nord-américaines, ont entrepris, à la fin des années 50, de proposer une modernisation de l'agriculture non seulement en Asie mais aussi en Amérique latine sujette à des conflits agraires engendrés par la pauvreté. Elles ont investi dans le transfert, vers les régions tropicales, des techniques agricoles mises au point aux États-Unis. Le principal investissement à réaliser concernait la mise au point de variétés de blé et de riz adaptées au milieu tropical. Transférer les techniques de fertilisation chimique ne présentait pas de difficultés particulières. Quant aux techniques de mécanisation agricole, il n'était pas nécessaire de le faire car l'agriculture, principale activité économique, devait occuper la plus grande part de la main-d'œuvre locale en attendant l'essor du secteur industriel et des services. C'est dans ce contexte que Borloug a mis au point des variétés de blé au CIMMYT (*Centro Internacional para el mejoramiento del maiz y trigo*, Mexico) qui ont été transférées au Punjab dès 1966, puis que Swaminathan, à l'IRRI (*International Rice Research Institute*, Philippines) d'abord, puis en Inde, a créé les premières variétés de riz à haut rendement. Très rapidement, en Inde, les surfaces semées en blé et en riz à haut rendement ont augmenté et, dès 1968, William Gaud qualifiait ce changement de révolution verte [3], expression qui désignait des systèmes de culture irrigués à base de blé et de riz, apparus dans le Punjab, et utilisant engrais et traitements chimiques. La Banque mondiale, alors

dirigée par McNamara, et différents gouvernements occidentaux ont ensuite entrepris, en 1971 et à l'instigation de Strong, de financer un ensemble de centres internationaux de recherche agricole coordonnés par un groupe consultatif.

Mais outre le modèle technique, la révolution verte est aussi une politique agricole d'accompagnement dont les dimensions ont été considérables. Tout d'abord, l'Inde a mené à bien une réforme agraire. L'objectif était de répartir la terre entre un très grand nombre de producteurs afin de leur assurer nourriture et emploi. En cela l'Inde imitait la Chine, la Corée, Taïpeh et le Japon (sous l'impulsion de McArthur) : elle réservait un espace économique à la population paysanne majoritaire et, ainsi, constituait implicitement les fondements d'une agriculture paysanne. Ces pays cités ont rapidement importé le modèle de la révolution verte et ont également financé massivement – avec des appuis internationaux – les infrastructures d'irrigation. Ils ont mis en place un appareil parapublic de grande envergure : recherche publique, organismes de vulgarisation, entreprises publiques d'approvisionnement en intrants, offices publics d'achat, organismes publics de financement du crédit. L'État a subventionné les engrais et les produits de traitement, ainsi que les prix agricoles, les prix à la consommation et le crédit. Ces mesures d'incitation ont assuré une progression rapide des surfaces cultivées. L'ensemble du dispositif était en effet de nature à surmonter l'aversion que les agriculteurs ont pour le risque quand il s'agit de modifier fondamentalement le système de production. En Inde, au début du processus, les agriculteurs les mieux dotés ont été les premiers à bénéficier de cette politique alors que les plus pauvres ont attendu. On a alors craint que la révolution verte creuse les inégalités sociales [4]. Près de 20 ans après, les faits ont montré que toutes les catégories d'agriculteurs ont finalement eu accès au progrès et qu'il n'y a pas eu d'effet d'inégalité [5]. Les mêmes politiques ont été appliquées progressivement dans toute l'Asie, en particulier en Indonésie. Au milieu des années 90, tous les pays de cette région avaient ainsi atteint leur autosuffisance alimentaire en céréales.

Autres tentatives, en particulier en Afrique

En Afrique, une des grandes tentatives d'importation de la révolution verte a été

la constitution progressive de grands périmètres irrigués rizicoles, où le contrôle de l'eau était total, le niveau de mécanisation pour la préparation du sol élevé et le recours aux engrais et aux produits phytosanitaires intensif. Les approvisionnements, le crédit et la commercialisation du riz étaient sous le contrôle de sociétés publiques. Tous les prix étaient décidés par l'État. Cette formule a d'abord été un échec financier en raison de la difficulté à maîtriser les nouveaux systèmes et des coûts élevés d'apprentissage pour une population qui, en majeure partie, découvrait les techniques d'irrigation. En Afrique de l'Ouest, l'échec a surtout été social car les sociétés publiques ont systématiquement accaparé l'essentiel de la maîtrise des systèmes de culture et souvent réduit les agriculteurs à une simple main-d'œuvre sans grande liberté mais qui devait pourtant assumer la responsabilité financière des opérations. Au bout de quelques années, les grandes exploitations ont été morcelées en petits périmètres directement contrôlés par les irrigants – qui accédaient également à une grande autonomie – et les sociétés publiques ont été remplacées par des organisations de producteurs. Les résultats se sont alors nettement améliorés [6].

Mais le véritable équivalent africain de la révolution verte a touché les cultures d'exportation. Alors qu'en Asie l'objectif était d'accroître rapidement la production alimentaire, dans l'Afrique des années 60, l'objectif des États – qui reprenaient ainsi les circuits mis en place pendant la période coloniale – était d'accroître les exportations, notamment de coton, d'arachide, de café, de cacao, de palmier à huile, d'hévéa, et d'ananas, afin d'alimenter par des taxes le budget de l'État. Là aussi, des variétés améliorées ont été proposées ainsi que l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires. Des sociétés publiques d'approvisionnement, de vulgarisation, de crédit et de commercialisation ont été créées. L'État a fixé les prix et mis en place les dispositifs de leur stabilisation pour faire face aux aléas des marchés internationaux. Dans tous les cas, les résultats ont été excellents, en particulier en Afrique de l'Ouest pour le coton où la rapidité du succès a clairement rappelé les niveaux de performance de la révolution verte en Inde. C'est pour cette raison que le qualificatif de révolution blanche a été utilisé [7]. En Inde même, la forte croissance des besoins en huiles

alimentaires a incité les pouvoirs publics à favoriser la culture du colza par des techniques intensives mais avec un dispositif institutionnel public réduit, comptant beaucoup plus que par le passé sur le secteur privé. L'ensemble a reçu le qualificatif de révolution jaune [8].

Eicher signale aussi l'utilisation de maïs hybride et d'engrais en Rhodésie dès l'après-guerre, qu'il qualifie de premier témoignage de la révolution verte en milieu tropical africain [9]. Certes, cette innovation a d'abord été le fait de fermiers blancs mais, assez rapidement et surtout dans les années 70, de nombreux petits producteurs indigènes se sont lancés dans la maïsiculture intensive avec le soutien des institutions publiques et de mesures protectionnistes [10].

Limites de la révolution verte

Application réduite de la révolution verte

Les techniques de production intensives utilisant variétés améliorées, engrais et produits de protection sanitaire ont été diffusées universellement, par exemple en horticulture dans les systèmes irrigués à assolement complexe du Maghreb et du Moyen-Orient ou dans les petites exploitations vivrières d'Amérique latine, sans que l'on utilise pour autant l'expression révolution verte alors qu'il s'agissait des mêmes techniques et des mêmes politiques publiques. En revanche, elle a été utilisée chaque fois qu'il s'agissait de productions vivrières extensives.

Ainsi, au Maghreb, sous l'impulsion de Borlaug, a-t-on tenté une révolution verte dans les grandes cultures de plaine et de plateau où existaient des systèmes de production en *dry-farming* à base de blé, de fourrage (vesce et avoine) et de jachère pâturée par les moutons. Il s'agissait d'introduire des blés à haut rendement et à paille courte. Cette innovation a été refusée pendant quelques années car elle requerrait une conduite très minutieuse des itinéraires techniques – que les grands domaines agricoles avaient des difficultés à mettre en place – et, surtout, car les pailles courtes réduisaient considérablement les ressources fourragères destinées aux moutons [11].

Dans les pays d'Afrique soudano-

sahélienne, des systèmes de production intensifs à base d'arachide et de céréales ont été proposés. Ils utilisaient la traction attelée pour réaliser un travail du sol plus profond qu'auparavant, le sarclage, des variétés sélectionnées et des engrais. Ils n'ont été adoptés que par une faible proportion des agriculteurs. Une proportion plus importante d'entre eux a utilisé la traction attelée mais pour accroître les surfaces semées, ce qui a conduit à réduire les surfaces en jachère sans pour autant permettre un entretien de la fertilité des sols, et donc à accroître l'usage des intrants [12]. Par ailleurs, dans de grandes parties de l'Afrique, les sols sont anciens, connaissent une altération des minéraux primaires des roches depuis très longtemps et sont souvent sableux et très appauvris en éléments nutritifs assimilables. Les argiles ont une faible capacité d'échange, ce qui rend les sols instables et sujets à l'érosion [13, 14]. Bien qu'il y ait de nombreuses explications possibles à cela, on peut convenir que, dans les milieux à faible potentiel productif, la révolution verte ne séduit pas autant les agriculteurs que dans les régions à fort potentiel. Il faudrait des techniques beaucoup plus convaincantes en termes de sécurité de la production pour vaincre leurs réticences [15].

La recherche et la vulgarisation ont aussi implicitement suggéré que les techniques de la révolution verte pouvaient faire l'objet d'adaptations et de transferts simples. L'adaptation des variétés et des systèmes de culture utilisés, à l'écologie locale, s'est faite dans des stations de recherche et la vulgarisation s'est contentée de diffuser les nouvelles techniques, relativement standardisées et peu flexibles, auprès des utilisateurs. Or, les milieux dans lesquels elles s'inséraient étaient assez hétérogènes tant du point de vue écologique qu'économique et social. Ce manque d'adaptation a pu rebuter les agriculteurs. Dans certains cas, le changement technique avait un caractère imposé en raison de la pression exercée par les sociétés d'État quelquefois relayées par les autorités coutumières, ce qui a pu induire un certain degré de violence sociale attaché au changement technique et à la marche vers le progrès.

La constatation que, en Afrique soudano-sahélienne, le progrès technique pouvait être refusé ou laisser une grande majorité de producteurs indifférente a suscité de nombreux débats et stimulé la recherche dans différents secteurs : en agronomie pour mieux comprendre le

caractère systémique des cultures, en sciences sociales pour décrire les réalités en termes de système agraire ou mieux comprendre les mécanismes de l'innovation et du changement dans les sociétés, en matière de recherche même, sur ses méthodes, afin de mieux comprendre et prendre en compte les contraintes et les objectifs des producteurs. Cela a débouché sur de nouvelles pratiques de recherche (la recherche-développement, la recherche-action et la recherche participative) visant à améliorer et transformer progressivement les systèmes de production en travaillant en interaction avec les producteurs, en conditions réelles de production, et en respectant le cadre des contraintes qu'ils rencontrent. On est alors très loin de la révolution verte mais plus proche des actions d'animation rurale auxquelles se livraient de nombreuses organisations non gouvernementales, en particulier en Amérique latine [16].

Contradiction entre politiques d'ajustement structurel et progression de la révolution verte

À partir de 1980, l'importance de la dette publique d'un grand nombre de pays en développement ainsi que l'inflation ont amené les gouvernements concernés à accepter les politiques fortement préconisées par le Fonds monétaire international et la Banque mondiale en matière de stabilisation macro-économique et d'ajustement structurel. La nécessité de réduire les dépenses publiques a obligé progressivement les gouvernements à démanteler l'ensemble du dispositif public d'appui au développement de l'agriculture : baisse puis suppression rapide des subventions aux intrants, suppression ou privatisation des organismes chargés des approvisionnements au risque de rompre les circuits, suppression, privatisation et démantèlement des offices et sociétés publiques de commercialisation des produits, liquidation des banques agricoles publiques trop endettées et régression consécutive du volume des crédits de campagne, suppression des systèmes de garantie des prix et retour au libre marché, suppression progressive des dispositifs de stabilisation des prix pour les produits d'exportation. En quelques années, toutes ces

mesures ont modifié en profondeur l'environnement économique des producteurs qui avaient été habitués à un dispositif stable depuis 20 à 30 ans. Mais cet appareil parapublic était devenu, dans un grand nombre de cas, assez inefficace. Pour les producteurs, ces réformes se sont traduites par l'accroissement des charges et des risques économiques. Ils se sont généralement adaptés en réduisant les achats d'engrais, ce qui a pu entraîner la stagnation ou la diminution des rendements. Les exploitations les plus engagées dans la révolution verte, en particulier les plus endettées, ont ainsi été menacées, ce que l'on a observé, par exemple, en Inde dans les zones cotonnières ou dans les zones d'irrigation [17].

Révolution verte et problèmes environnementaux dans les zones tropicales

À partir de 1994, on s'est interrogé sur le plafonnement des rendements dans les régions de l'Inde où la révolution verte a commencé, en particulier dans le Punjab. Puisqu'il s'agit d'une agriculture irriguée bien maîtrisée par les producteurs, la variabilité des rendements n'est pas très importante et on a pu assez vite repérer où cette tendance se manifestait. Les analyses qui ont été faites l'expliquent par la réduction des doses d'engrais en raison de l'accroissement de leur prix provoqué par l'application des politiques d'ajustement structurel, mais aussi par l'apparition de surfaces en partie stérilisées par la salinisation des sols irrigués, par l'existence de sols gorgés d'une eau que l'on ne peut pas drainer et, enfin, par le manque d'eau à d'autres endroits en raison de la baisse des nappes phréatiques et de l'accroissement concomitant du coût des forages [18]. Étant donné que l'eau est gratuite et que les irrigants payent l'électricité au forfait faute de disposer de compteurs, la ressource eau est gaspillée [19]. Des analyses ponctuelles effectuées dans des villages [20] montrent qu'il est très probable qu'en multipliant les forages creusés de plus en plus profondément, on modifie la dynamique des nappes, ce qui se traduirait par leur baisse rapide à certains endroits et leur remontée à d'autres. Si cette analyse était confirmée, une catastrophe écologique fort coûteuse se préparerait dans la vallée du Gange. Pourtant, à l'échelle de l'ensemble de

cette vallée, les rendements s'améliorent encore car les zones où la révolution verte a fait son apparition en dernier se situent encore dans la phase de croissance de la courbe d'apprentissage. On peut aussi imaginer que le plafonnement des rendements serait dû au fait que plus ils s'approchent de ceux obtenus en station de recherche (maximum possible), plus leur croissance se ralentit (inflexion négative de la courbe d'apprentissage).

La riziculture intensive asiatique pose par ailleurs des problèmes de pollution importants : la surutilisation d'engrais et de produits phytosanitaires [21], due à l'application indifférenciée des recommandations techniques, conduit à un gaspillage et à une pollution notable des nappes phréatiques et des eaux fluviales, phénomène également observé dans de nombreux deltas des fleuves asiatiques.

En culture pluviale, la révolution verte telle qu'elle est pratiquée, par exemple, dans les régions cotonnières d'Afrique de l'Ouest ou les régions de production de soja du Mato Grosso (Brésil) pose aussi des problèmes environnementaux : déforestation massive pour installer de grandes cultures, travail du sol et son exposition aux intempéries, ce qui conduit à détruire une grande quantité de matière organique et favorise l'érosion, celle-ci pouvant atteindre des niveaux catastrophiques. Le désherbage par le travail du sol et les herbicides est difficile et coûteux sur ces sols. Pour ces raisons, les surfaces défrichées sont rapidement abandonnées par les entreprises qui les avaient mises en valeur [22].

Modèle de la révolution verte, en crise ?

En résumé, le modèle de la révolution verte rencontre trois limites. Tout d'abord, il ne s'applique que dans les zones à fort potentiel de production, c'est-à-dire disposant de sols et d'un climat favorables, d'infrastructures de communication et d'institutions facilitant le fonctionnement de l'économie de marché. Il semble par ailleurs ne s'être appliqué que lorsque les producteurs ont bénéficié de politiques publiques très incitatives, mais celles-ci n'ont pas pu se prolonger très longtemps en raison de leur coût élevé et des contraintes macro-économiques rencontrées par les États dans la plupart des pays du monde depuis 20 ans. La mondialisation de l'économie, la

réduction des aides publiques et la baisse des taux de protection ont modifié les prix relatifs et la compétitivité des agricultures de la révolution verte. Elles vont maintenant devoir être économiquement plus efficaces. C'est la deuxième limite. Ces changements interviennent alors que se révèle la troisième limite : l'apparition d'importantes externalités environnementales négatives. En ce sens, on peut dire qu'il y a crise du modèle.

Mais une adaptation des techniques de production devrait rapidement intervenir afin de réduire les coûts et les surconsommations d'intrants, limiter les atteintes à l'environnement et retrouver des niveaux satisfaisants de compétitivité pour que certaines agricultures puissent conserver leur place à l'exportation ou que d'autres évitent la trop forte concurrence des importations. Cette nouvelle agriculture dont on parle en Europe a reçu le nom d'agriculture raisonnée. En Asie, où il faudra encore beaucoup accroître les rendements, on parle de « super-révolution verte ». Dans ce contexte, la recherche va poursuivre l'amélioration du potentiel génétique des cultures, par exemple avec les « super-riz ». Certains caractères génétiques permettant de réduire les coûts devraient être intégrés aux cultures comme la résistance des maïs aux herbicides et à certains insectes. Les producteurs, enfin, devraient peu à peu accroître leur maîtrise des itinéraires techniques pour rapprocher leurs performances de l'optimum possible au champ. Mais cette adaptation devrait aussi permettre l'émergence progressive d'une nouvelle logique de production qui, en voulant concilier la productivité et le respect de l'environnement, va mettre l'écologie au cœur des raisonnements sur les systèmes de production. Elle devrait intéresser particulièrement les régions où la révolution verte n'a pas été possible car elle constitue alors la voie naturelle de l'évolution. C'est l'objectif de la révolution doublement verte.

Modèle de la révolution doublement verte

En 1994, un groupe de travail du Groupe consultatif de la recherche agronomique internationale (GCRAI), présidé

Summary

The doubly green revolution: models and realities

M. Griffon

The doubly green revolution is the name given to several new agricultural models and policies designed to increase production and reduce environmentally detrimental effects – particularly to help meet food needs in low-potential areas of developing countries. The key concepts of this revolution are based on the viability theory and the results of some successful projects. The most spectacular achievement to date is in Brazil, where new production techniques have been developed whereby crops are grown in mulch. Many other techniques, especially in agroforestry, are also in line with the doubly green revolution concept. These techniques can be promoted through a favourable economic and institutional environment. The theoretical foundations and some successful experiments and applications are presented.

Cahiers Agricultures 1999 ; 8 : 259-67.

par Conway, a proposé d'utiliser l'expression « révolution doublement verte » [23] pour désigner une agriculture qui soit à la fois très productive (afin de faire face aux besoins alimentaires croissants), économiquement et écologiquement viable et socialement acceptable, c'est-à-dire soucieuse de participer à un développement équitable. Le concept a été précisé en 1995, lors d'un séminaire international au Futuroscope de Poitiers [24], et dans des publications ultérieures [25]. Le fondement du nouveau modèle est le concept de viabilité.

Qu'est-ce que la viabilité ?

La révolution doublement verte est la traduction de la notion de développement durable dans l'agriculture. Celui-ci repose sur la notion de viabilité [26], qui exprime les conditions pour qu'un système doté des caractéristiques du vivant puisse rester, au cours de son évolution, dans son domaine de viabilité, lui-même pouvant être caractérisé et modélisé. On peut intervenir sur certaines des variables de régulation du système afin de gérer son évolution et le maintenir dans son domaine de viabilité. Pour l'agriculture, le type de système vivant auquel on s'intéresse est le métabolisme constitué par des écosystèmes cultivés et les sociétés dont ils sont le substrat. Ce type de système peut être décrit et modélisé en recourant à l'écologie, à l'économie et aux sciences sociales. On peut en caractériser la viabilité au moyen de trois critères :

– la capacité à se reproduire, c'est-à-dire à reproduire les flux des éléments consti-

tutifs et la fonctionnalité du système sans qu'il connaisse de dégradation ;
– la résilience ou capacité à résister aux chocs, c'est-à-dire à retourner à la situation initiale après la perturbation ;
– l'absence d'effets externes négatifs en retour, autrement dit, l'absence d'effets de toxicité du système sur lui-même.

La viabilité d'un système se définit donc à partir de ses caractéristiques propres et, en particulier, de son cadre de régulation, c'est-à-dire de l'ensemble des variables et des règles de régulation utilisables. Une gestion durable utilise cette capacité de régulation, c'est-à-dire l'ensemble des actions qui conduisent à régler, rectifier, tempérer et optimiser le fonctionnement et le régime de fonctionnement du système. Ces actions assurent donc la reproduction et la résilience, et limitent les effets externes négatifs.

Assurer la reproduction du système, c'est maintenir le renouvellement de ses éléments constitutifs et les fonctions qui assurent ce renouvellement. Par exemple, on cherchera à maintenir des flux et des stocks d'eau pour assurer la croissance des plantes cultivées en gérant les fonctions du sol et de la végétation qui permettent le contrôle des flux et la capacité de stockage. On cherchera à maintenir les flux et les stocks d'éléments minéraux pour qu'ils soient mis à la disposition des systèmes racinaires selon les quantités souhaitées. On cherchera à accroître la quantité de biomasse retournant au sol et à faciliter la constitution d'un stock de matière organique entretenant la structure du sol et permettant de maintenir, par la minéralisation, un flux d'éléments

concourant à sa fertilité. On cherchera aussi, par exemple, à maintenir un flux de trésorerie permettant d'assurer à tout moment les achats nécessaires à la vie de l'unité de production. La reproduction et la reproductibilité du système sont donc avant tout une affaire de gestion de la dynamique des flux et des stocks. En ce sens, la reproduction utilise l'ensemble des circuits des différents éléments qui existent dans le système. On peut dire qu'elle en utilise l'écologie.

Assurer la résilience est surtout une affaire de stocks : pour résister à la sécheresse, on cherchera à accumuler des réserves en eau, pour résister à une mauvaise récolte mettant en péril la couverture des besoins alimentaires, on réalisera des stocks et, pour résister au choc dû à de mauvaises rentrées d'argent, on constituera une épargne. Mais la résilience est aussi une affaire de flexibilité, par exemple dans le calendrier des travaux : pour résister aux attaques des maladies et des ravageurs, il faut être prêt et pouvoir intervenir rapidement. Il en va de même pour faire face à une prolifération de mauvaises herbes.

Faire en sorte qu'il n'y ait pas d'effets externes négatifs, c'est encore gérer les flux. L'objectif est en effet de réduire les pertes d'éléments chimiques, par exemple en limitant les doses d'engrais et en répartissant les apports dans le temps de manière à réduire les pertes par lixiviation ou en introduisant des plantes à enracinement profond permettant de recycler les éléments nutritifs. C'est aussi adopter des pratiques de lutte intégrée pour réduire l'usage des insecticides chimiques. Sur le plan social, il s'agit de faire en sorte que le développement du système dans son ensemble ne crée pas d'inégalités débouchant sur des mécanismes d'exclusion sociale dommageables aux personnes comme au système dans son ensemble.

La révolution doublement verte doit donc assurer la viabilité à la fois des écosystèmes, des économies et des sociétés. Mais elle doit le faire dans un contexte de transformation rapide sous la pression de l'augmentation des besoins alimentaires et des autres demandes formulées à l'égard de l'agriculture (énergie, industrie). Cette pression des besoins amène progressivement à intensifier l'utilisation des capacités de renouvellement du système – son écologie – puis à le transformer autant que nécessaire par artificialisation progressive (aménagement écologiques, apports d'intrants complétant les cycles

de reproduction des différents éléments). En ce sens, la révolution doublement verte n'est pas un forçage du système mais une gestion intégrée de l'ensemble des constituants du système (sol, fertilité, eau, maladies et ravageurs, temps de travail, trésorerie...) ainsi que de sa multifonction (fonctions écologique, économique et sociale). C'est aussi une pratique de l'internalisation des externalités car on réduit les effets externes néfastes par une gestion intégrée. Elle se distingue donc largement du modèle de la révolution verte dont l'objet était avant tout centré sur l'accroissement de la production et l'optimisation de la seule fonction de production sans que soient prises en compte d'autres considérations.

Principales expériences et réalisations

Depuis longtemps déjà, les agriculteurs et les sociétés ont mis en œuvre des pratiques qui vont dans le sens d'une agriculture durable. Ces pratiques ont existé avant la révolution verte dans les sociétés où les ressources constitutives des écosystèmes étaient rares (zones sèches, sols pauvres) ou fragiles (pentes sujettes à l'érosion) et, donc, où leur renouvellement était une condition indispensable de survie. C'est d'ailleurs dans ces régions à faible potentialité que la révolution doublement verte sera le plus utile pour nourrir l'essentiel de la population agricole qui, aujourd'hui encore, ne peut assurer la couverture de ses besoins et qui, selon la FAO, représenterait les trois quarts des 800 millions de sous-alimentés du monde. Mais elle sera aussi indispensable dans les régions à potentialité moyenne ou forte, d'une part afin de réduire les effets environnementaux et, d'autre part, pour accroître la production car tout accroissement durable dans ces régions épargnera l'utilisation d'espaces fragiles dans d'autres régions. On peut considérer aujourd'hui qu'il y a plusieurs grands ensembles de techniques de révolution doublement verte : le non-labour ou le labour minimum, les systèmes à base de plantes de couverture, l'agroforesterie, les aménagements écologiques locaux et les jardins complexes.

Non-labour et semis direct

Le non-labour et le travail minimum du sol ont été mis au point afin de limiter les phénomènes d'érosion, notamment éolienne, dans les plaines à grandes cultures où l'on pratiquait une agriculture mécanisée, en particulier aux États-Unis. Outre cet avantage, en renonçant au labour, on réduit de façon importante les coûts de production. Cependant, dans de nombreuses régions, les inconvénients du non-labour sont importants : la nature des sols peut exiger qu'un travail profond soit réalisé pour améliorer la structure, le labour peut être indispensable pour accroître la capacité de stockage de l'eau, éviter le compactage ou faciliter un enracinement satisfaisant des plantes. Ces techniques ne peuvent donc pas s'appliquer sur tous les sols.

Récemment, des techniques perfectionnées de semis direct ont été mises au point et sont utilisées aux États-Unis et en Europe. Elles combinent l'utilisation d'herbicides, la conservation des résidus de récolte et la réalisation de façons culturales superficielles variées. Ces pratiques pourraient se développer pour, notamment, réduire les coûts de mécanisation et obtenir des gains de productivité et de compétitivité importants. Cette dynamique s'accorde bien avec celle de l'accroissement de la taille des exploitations.

Cultures de couverture

En Australie, dans les années 60, confrontés à l'importance de l'érosion éolienne, les agriculteurs ont adopté les techniques de travail minimum pour le semis de blé et ont introduit les luzernes annuelles comme plante de couverture permanente. Cette couverture est renouvelée tous les ans par la constitution progressive d'un stock de graines de luzerne dans le sol. Elle a permis d'arrêter l'érosion, de fournir des unités d'azote gratuites au blé et d'élever des moutons. Cette pratique, dite du *ley farming*, a été introduite dans les grandes plaines de la Méditerranée mais sans grand succès. Ses inventeurs [27] la qualifiait de révolution verte en raison de l'utilisation de variétés améliorées de blé et de l'utilisation d'intrants chimiques. Cependant, on peut considérer qu'avoir utilisé des fonction écologiques pour réduire l'érosion tout en accroissant la production générale fait que ce succès s'apparente à la révolution doublement verte. Ces tech-

niques ne sont pas sans rappeler les pratiques de la culture dérobée de trèfle dans les grandes exploitations européennes jusque dans les années 60.

Les cultures de couverture sont aussi utilisées dans la zone tropicale. À l'origine, certaines plantes ont été cultivées dans les bananeraies d'Amérique centrale pour lutter contre l'érosion et par les petits agriculteurs pour maîtriser l'érosion des pentes. En Amérique centrale, le haricot sous couvert [28] va dans le sens de l'utilisation de couvertures vivantes ou mortes. Des expériences récentes à Madagascar [29] et dans les petites exploitations agricoles du sud-est du Brésil [30] montrent que ces techniques intéressent beaucoup les petits agriculteurs, ceux qui sont pauvres et les jardiniers (utilisation du paillage). Les cultures de couverture ont un rôle multiple : protection contre l'érosion, récupération des eaux pluviales par infiltration, maintien d'une température et d'une humidité favorables à la formation d'un horizon humique et à la minéralisation de la matière organique en synchronisation avec le développement des plantes cultivées, contrôle des mauvaises herbes... Certaines plantes peuvent être utilisées pour leur capacité à perforer les couches denses du sol et accroître leur capacité de stockage.

En grandes cultures dans des zones tropicales humides où sévit là aussi l'érosion, Seguy a envisagé, notamment au Brésil, des successions culturales : une première culture à enracinement profond permet la récupération d'éléments minéraux, elle est ensuite détruite avec des herbicides pour créer un mulch épais qui, en se décomposant, remet les éléments minéraux à disposition du sol en surface, puis les cultures (maïs, soja ou coton) sont semées directement en ligne sans labour. Il y a donc combinaison du semis direct et des plantes de couverture. L'économie de travaux mécaniques et d'intrants est importante et l'accroissement des rendements est substantiel, faisant même considérer que le Mato Grosso pourrait devenir, grâce à cela, la région la plus compétitive du monde en ce qui concerne les grandes cultures tropicales [31]. Dans l'ensemble du Brésil, les techniques de semis direct avec ou sans couverture atteignaient déjà 12 millions d'hectares en 1998 [32].

Agro-foresterie

Les arbres pourraient contribuer de manière plus importante que maintenant à la sécurité alimentaire dans un grand

nombre de zones à faible potentialité. Mais leur rôle peut aussi être très important en raison de leurs multiples fonctions : fonction écologique pour la conservation de l'eau, l'atténuation de la température, la création de microclimats et la lutte contre l'érosion ; fonction productive pour le recyclage des éléments minéraux migrant en profondeur, pour la fixation de l'azote (légumineuses) pour l'alimentation du bétail ; fonction économique (épargne, fonction paysagère...). L'utilisation des arbres dans des systèmes de production agroforestiers semble revêtir un grand intérêt pour les zones d'agriculture de pente [33].

Aménagements écologiques locaux

Dans les zones à faible pluviosité, agriculture durable est synonyme d'économie de l'eau et de lutte contre la désertification. C'est donc l'ensemble des bassins versants qui doit faire l'objet de traitements appropriés : plantations en amont et dans les pentes, cultures en terrasses, diguettes de guidage de l'eau, empierrements anti-érosif, plantations le long des lits d'écoulement, micro-barrages... Dans ces aménagements, les arbres jouent un rôle capital. Cette transformation des paysages requiert des accords entre tous les ayants droit, qu'il s'agisse de propriétaires privées ou de l'État. Cela suppose donc des négociations dans lesquelles l'ensemble des avantages et des inconvénients pour chacun sont évalués. D'une manière plus générale, tous les aménagements de terroir destinés à gérer les ressources naturelles renouvelables (l'eau, les espaces pâturés et leur éventuelle fermeture, les espaces boisés, les ressources cynégétiques...) obéissent à des logiques de viabilité écologique et ne peuvent exister que s'ils sont socialement acceptés. Certains projets de développement obéissant à ces logiques sont en cours au Sahel et préfigurent ce que serait la révolution doublement verte dans cette région [34].

Jardins complexes et les biovillages

Les sociétés agraires qui ne disposent que de très peu d'espace productif ont souvent réussi à combiner un grand nombre de productions en valorisant leur complémentarité, leur multifon-

tion et leur synergie. Les systèmes qui en résultent sont très complexes et font l'objet de gestions précises héritées de l'expérience. La fondation Swaminathan, en Inde, cherche à innover en reprenant la même base de raisonnement, c'est-à-dire en essayant de combiner et de rendre compatibles des améliorations concernant les productions actuelles et de nouvelles productions. Ainsi, les biovillages de Pondichéry associent de nouvelles productions (champignons sur couches suspendues, petits élevages, en particulier de poisson, nouvelles variétés de fruitiers, production de plantes médicinales et de fleurs...) et de nouvelles techniques (lutte intégrée, compostage des résidus à l'aide de vers de terre, biopesticides, engrais à base d'azolle...). Cette conception débouche sur une vision idéale du jardin comme espace diversifié à l'extrême permettant de satisfaire en grande partie les besoins essentiels et de fournir un moyen d'existence à la population pauvre [35].

Quelles politiques d'accompagnement pour la révolution doublement verte ?

Si la progression de la révolution verte avait été largement favorisée par une politique d'incitations publiques particulièrement volontaire, il ne peut pas en être de même pour la révolution doublement verte. Le contexte économique a changé dans tous les pays et les États n'ont pas les moyens de financer une telle politique. C'est dans le cadre des progrès de l'économie de marché et de l'accroissement de la compétition internationale que la révolution doublement verte devrait se produire. Cependant, dans beaucoup de pays en développement, la nécessité d'assurer la sécurité alimentaire et de protéger les catégories de la population les plus vulnérables pourrait ralentir le rythme de démantèlement des politiques de protection et donner l'occasion aux agricultures locales de développer leur marché intérieur. Il se peut aussi que la concurrence extérieure incite les producteurs à accroître la productivité. Il se peut enfin que la prise de conscience des dangers environnementaux les pousse à faire évoluer leurs pra-

tiques vers celles d'un développement durable et qu'ils y soient incités par de nouvelles aides internationales. Mais l'essentiel de l'action publique se situera certainement dans le strict domaine de la fourniture de biens publics, c'est-à-dire des infrastructures, de la recherche et de l'éducation.

Des choix publics décentralisés

Dès lors que la révolution doublement verte a recours à un raisonnement écologique pour améliorer la viabilité et l'efficacité de la production, les aménagements écologiques du milieu sont au centre des transformations à opérer et représentent des investissements : traitement des bassins versants, remembrement et réaménagement des parcelles, organisation de la circulation des animaux dans les exploitations où les clôtures n'existent pas, reboisement des zones sensibles, organisation du stockage de l'eau... Tous ces changements mettent en jeu des acteurs locaux et touchent aux droits de propriété sur les ressources naturelles et les espaces fonciers (propriété individuelle, bien public, propriété lignagère). Ils ne peuvent être réalisés que dans le cadre d'institutions publiques locales de médiation et de décision adossées à une législation et un à l'État de droit. En ce sens, la décentralisation et son corollaire, la démocratie locale, sont nécessaires à la mise en œuvre d'un développement durable, mais tout autant que le sont les règles générales édictées par l'État.

Une recherche intimement liée aux questions des producteurs

Les modes d'organisation de la recherche agricole ont été très marqués par la révolution verte. En raison de la relative simplicité des techniques proposées, celle-ci pouvait commencer dans les stations de recherche puis diffuser ses techniques dans les vastes territoires dans lesquels elle pouvait s'appliquer en raison de leur grande homogénéité écologique et économique (les grandes plaines et les grandes vallées irrigables). La situation est opposée pour la révolution doublement verte. S'agissant de zones à plus faible potentialité, les milieux où elle s'appliquera seront inévi-

tablement beaucoup plus hétérogènes. La recherche ne devra donc pas échapper à l'analyse des nombreuses situations locales. Le moyen le plus rapide pour acquérir les connaissances nécessaires dans les phases d'analyse sera d'abord de collecter les connaissances vernaculaires accumulées par les producteurs. Par ailleurs, la recherche bénéficie d'outils nouveaux comme les systèmes d'information géographique (SIG). Il faudra donc savoir combiner l'expérience et les connaissances locales avec les nouveaux outils. De même, de nouvelles approches seront nécessaires pour réaliser une expérimentation en accord avec les intéressés dans leurs propres conditions de production, en mêlant l'expérience avec ce que les techniques actuelles de modélisation et de simulation peuvent permettre. Il faudra aussi que les comportements des chercheurs évoluent afin que leurs travaux soient directement orientés vers la résolution des problèmes de terrain et qu'ils prennent l'habitude de travailler avec les utilisateurs directs que sont les producteurs. Cela n'empêchera pas les travaux en laboratoire, notamment en matière de génétique, afin de sélectionner de nouvelles plantes ou de nouveaux animaux, ou bien de produire des variétés adaptées aux nouveaux besoins, par exemple la résistance à la sécheresse et au sel, la fixation de l'azote, la capacité à restructurer les sols ou à extraire les éléments minéraux profonds. La recherche devra donc se mobiliser sur des objectifs concrets organisés par projets et réalisés en accord avec les utilisateurs tout en se servant d'outils perfectionnés. S'il s'agit là d'un changement important dans la pratique de la recherche agricole pour les pays en développement, il n'en reste pas moins que ce genre de méthode est courant dans le domaine industriel et ne devrait donc pas tarder à se répandre.

Des échéances à 20 ans

Il est aujourd'hui possible de prévoir, sans grand risque de se tromper, quels seront les besoins que les écosystèmes cultivés devront satisfaire pour faire face à la fin de la vague démographique mondiale et où ils se situeront. On sait aussi quels seront les principaux risques envi-

ronnementaux liés à la transformation de l'agriculture. En allant plus loin, on pourrait évaluer les dangers sociaux liés à des tensions entre des ressources naturelles insuffisantes ou fragiles et des sociétés connaissant une forte croissance de leurs besoins. On pourrait donc ainsi définir la carte des enjeux d'une agriculture durable. Sachant que l'essentiel de la croissance des besoins dans les pays en développement doit avoir lieu dans les quarante prochaines années, sachant aussi que la mise en place des politiques incitatives et la diffusion des techniques nécessaires sont toujours très longues, sachant enfin que les techniques proposées sont très intenses en connaissances et demandent un temps d'apprentissage, des échéances pour le programme de recherche de la révolution doublement verte sont créées. Pour être au rendez-vous, ce programme devrait avoir produit l'essentiel des techniques et des méthodes génétiques indispensables dans les 10 à 15 années qui viennent et avoir proclamé ses résultats dans 20 ans. Il est aussi possible qu'à ce programme s'ajoutent d'autres grands objectifs, notamment celui d'une plus grande contribution de l'agriculture et de la forêt à la séquestration durable du carbone afin de réduire rapidement les quantités de ce gaz dans l'atmosphère, ou encore celui – sans doute plus facile à réaliser – d'une participation accrue à la gestion de la biodiversité. Face à ces enjeux, les agricultures nationales devront être capables de s'organiser pour anticiper les échéances du long terme qui sont commandées par la démographie, la situation alimentaire et l'état de l'environnement ■

Références

1. Mazoyer M, Rondart L. *Histoire des agricultures du monde*. Paris : Seuil, 1997 ; 545 p.
2. Paillot G, Rousset D. *Tais-toi et mange*. Paris : Bayard, 1999 ; 186 p.
3. Swaminathan MS. 1999. Ecotechnology and sustainable food security. In : *Planetary Garden 99. Proceedings. Prospective 2100*. Paris : Prospective 2100, 1999 ; 4-19.
4. Bergman T. *Réforme agraire et révolution verte : le cas de l'Inde*. Londres : John Hopkins, 1971 ; 15-25.
5. Hazell P, Ramasany C. *The green revolution reconsidered*. Londres : John Hopkins, 1991 ; 286 p.
6. Griffon M. La Sald. *Étude analytique des structures de développement rural*. Dakar : SONED-SEDES, 1977 ; 289 p.

7. Fok M. Le coton en Afrique de l'Ouest : révolution verte ou évolution institutionnelle ? In : Griffon M, éd. *Succès et limites des révolutions vertes. Séminaire CIRAD-MES, 1995, Montpellier*. Montpellier : CIRAD, 1997 : 80-92.

8. Dorin B. *L'économie oléifère de l'Union indienne*. Thèse de doctorat, université de Montpellier-1, 1994 ; 345 p.

9. Eicher K, Byerlee D. *Africa's emerging maize revolution*. Londres : Lynne Rienner Publishers Boulder, 1997 ; 301 p.

10. Abadie P. Paysans partenaires et maïs coton. Piliers de la politique agricole du Zimbabwe indépendant. In : Griffon M, éd. *Economie des filières en région chaude*. Montpellier : CIRAD, 1989 : 403-19.

11. D'Andlau G, Griffon M. *Synthèse des opérations intégrées de recherche-développement dans le domaine des céréales en Algérie*. Paris : SEDES, 1980 ; 280 p.

12. Griffon M. *La Sodeva. Étude analytique des structures de développement rural*. Dakar : SONED-SEDES, 1977 ; 244 p.

13. Pédro G. Spécificités biophysiques des milieux tropicaux dans le cadre de leur mise en valeur. Paris : Académie d'Agriculture, 1999 ; 8 p. (miméographie).

14. Pédro G. Fonctionnement biogéochimique d'écosystèmes forestiers tempérés et tropicaux. Incidences sur les problèmes de durabilité et de mise en valeur. *CR Acad Agr Fr* 1996 ; 8 : 79-80.

15. Boussard JM. Les stratégies anti-risques des producteurs limitent-elles leur productivité ? In : Griffon M, éd. *L'avenir de l'agriculture dans les pays du Sahel. Actes du XI^e séminaire d'économie rurale*. Montpellier : CIRAD, 1990 : 101-10.

16. Billaz R, Dufumier M. *Recherche et développement en agriculture*. Paris : PUF, 1980 ; 190 p.

17. Druésne N. *Révolution doublement verte. Les biovillages à Pondichéry*. Paris : CIRAD-ECOPOL, 1998 ; 107 p. (documents de travail).

18. Pingali P, Rosegrant M. Les conséquences environnementales de la révolution verte et comment y faire face. In : *18^e session de la Commission internationale du riz*. Rome : FAO, 1994.

19. Kuper M. *Irrigation management strategies for improved salinity and sodicity control*. Lahore : IIMI-CEMAGREF/Wageningen Agricultural University, 1997 ; 238 p.

20. Grand Colas D. *Les producteurs de blé en Inde : exemple du village de Mathânâ*. Haryana, Rapport de DEA, Université de Paris-X, 1996 ; 110 p.

21. Angé A. *Analyse des rendements et consommations d'engrais en Inde*. Rome : FAO, 1995 (miméographie).

Résumé

Développement durable et agriculture : la révolution doublement verte

M. Griffon

La formule de « révolution doublement verte » est donnée à quelques nouveaux modèles de systèmes de production ainsi qu'aux politiques qui pourraient à l'avenir les promouvoir. L'objectif visé est de poursuivre l'accroissement de la production et des rendements tout en respectant l'environnement en vue notamment de répondre aux besoins alimentaires des populations les plus pauvres qui se trouvent dans les régions à faible potentiel des pays en développement. Les concepts de base proviennent de la théorie de la viabilité. La réalisation la plus spectaculaire se situe au Brésil où se développent des techniques de production utilisant des plantes de couverture mortes. Mais beaucoup d'autres techniques existent, en particulier, toutes celles du domaine de l'agroforesterie. Pour être appliquées, ces techniques doivent bénéficier d'un environnement économique et institutionnel favorable. L'article présente les fondements théoriques de la révolution doublement verte et quelques expériences ou applications.

22. Seguy L, Bonzinac S. Concepts et mise en pratique de modes de gestion agrobiologiques adaptés aux sols acides de la zone tropicale humide. *OCL* 1998 ; 5 : 126-9.

23. Conway G, Carsalade H, Griffon M, et al. *Une agriculture durable pour la sécurité alimentaire mondiale*. Paris : CIRAD-URPA, 1994 ; 36 p.

24. Griffon M. *Towards a double green revolution. Proceedings of a seminar, Poitiers, Futuroscope, nov. 1995*. Paris : CIRAD-FPI, 1995 ; 206 p.

25. Conway G. *The doubly green revolution. Food for all in the 21st century*. Londres : Penguin Books, 1997 ; 335 p.

26. Aubin JP. *Static and dynamic economic theory. A viability approach*. Paris : université Paris-Dauphine, 1993 (miméographie).

27. Puckridge DW, French RJ. The animal pasture in cereal ley farming systems of Southern Australia : a review. *Agr Environ* 1983 ; 9 : 229-67.

28. Hocdé H. Introduction de mulch, matière organique et autres pratiques dans la petite agriculture centre-américaine : prélude à une révolution doublement verte ? In : Griffon M, éd. *Succès et limites des révolutions vertes*. Montpellier : CIRAD, 1997 : 161-8.

29. Raunet M, Séguy L. Gestion agrobiologique et semis direct : enjeux pour l'agriculture tropicale. *OCL* 1998 ; 5 : 123-5.

30. Hocdé H. *Resultados de la siembra directa. Enseñanzas de la experiencia Brasileira*. San José : PRIAG-IICA, 1996 (vidéo).

31. Billaz R, Palma V. L'expansion de l'agriculture et de l'élevage dans les savanes tropicales, les limites de la révolution verte et l'émergence d'alternatives agro-écologiques durables In : Griffon M, éd. *Succès et limites des révolutions vertes*. Montpellier : CIRAD 1997 : 137-60.

32. Raunet M. *Agriculture de couverture, semis direct, durabilité, effet de serre*. Montpellier : CIRAD 1998 ; 25 p.

33. Griffon M, Mallet B. En quoi l'agroforesterie peut-elle contribuer à la révolution doublement verte ? *Bois et forêts des tropiques* 1999 ; 260 : 45-51.

34. Griffon M, Khellil H. *Évaluation du projet Keita. Rapport pour la FAO*. Montpellier : CIRAD, 1996 ; 135 p.

35. Swaminathan MS. *Sustainable agriculture, towards an evergreen revolution*. Delhi : Konark Publishers, 1996 ; 219 p.